مجله افق‌های نوین در شیمی

نگاه اجمالی به صنعت گاز طبیعی

محمود زرگان

شرکت مناطق نفت خیز جنوب، شرکت بهره برداری نفت وگاز کارون،کارخانه گاز و گاز مایع ۶۰۰

m.zargan@gmail

چکیده

تقاضای انواع انرژی هر ساله در جهان با توجه به تحولات اقتصادی، پیشرفت و توسعه کشورهای مختلف در حال افزایش می باشد. با توجه به پیش بینی ها اکثر کارشناسان حوزه ی نفت و گاز مصرف گاز طبیعی در جهان تا سال ۲۰۳۰ به رشد ۲,۴ درصد در سال خواهد رسید.در این بین گاز طبیعی به دلیل پاک بودن و انتشار کمتر انواع آلاینده ها در مقایسه با نفت خام و سازگاری با قوانین زیست محیطی، می توان نقش بسیار حیاتی و استراتژیکی را در تامین انرژی مورد نیاز جوامع و صنایع مختلف را ایفا کند. به همین دلیل مصرف این ماده با ارزش اقتصادی بالا در سال های اخیر رو به افزایش بوده است. از مزایای گاز طبیعی می توان به فراوانی این ماده در طبیعت،قیمت پایین ،عملیات پالایش و تصفیه ساده تر در مقایسه با نفت خام و نیز جایگزین مناسب برای محصولات نفتی را اشاره نمود.یکی از عوامل بسیار مهم اقتصادی و بازدارنده در توسعه صنعت گاز طبیعی دور بودن مخازن گاز طبیعی از بازار مصرف و نیز هزینه حمل و نقل در مقایسه با نفت خام می باشد.از مهمترین کاربردهای گاز طبیعی می توان به تبدیل گاز طبیعی به فراورده های مایع و گاز با ارزش افزوده بالا همانند NGL ، GTL ، LPG و CNG ،تبدیل گاز طبیعی به انرژی الکتریسیته اشاره نمود.روش های مختلف انتقال گاز طبیعی شامل انتقال از طریق خطوط لوله،انتقال به صورت گاز طبیعی مایع شده،انتقال به وسیله مخازن با فشار بالا از طریق فشرده سازی گاز طبیعی در فشارهای بالا و نیز انتقال از طریق هیدرات گازی می باشد.فناوری های متنوع استفاده از گاز طبیعی با توجه به نوع روش به کار رفته به تبدیلات فیزیکی، شیمیایی،تبدیل گاز طبیعی به نیرو و تبدیل گاز طبیعی به کالا و محصولات فیزیکی تقسیم بندی می شوند.

https://science-journals.ir, https://onsh.sci

کلمات کلیدی: گاز طبیعی، نفت خام، فراورده های مایع و عملیات پالایش

۱-مقدمه

گاز طبیعی یکی از مهم ترین ارکان تحول اقتصادی در جوامع صنعتی می باشد(دیل و قنبرزاده،۱۳۹۱).امروزه گاز طبیعی یکی از پرکاربردترین سوخت ها در مصارف خانگی و صنعتی بوده و به طور چشمگیری جایگزین سایر سوخت‌های فسیلی شده است(فرزانه گرد و رهبری،۱۳۹۰). تحولات سریع ساختاری و تکنولوژیک در اقتصاد جهانی لزوم تنوع بخشیدن در بخش انرژی و منابع تامین انرژی، امنیت عرضه، رشد بسیار بالای مصرف انرژی در افق‌های بلند مدت در جوامع صنعتی و در کشورهای در حال توسعه، نگرانی نسبت به آلودگی‌های زیست محیطی، رشد فزاینده ی مصارف محصولات گوناگون صنعت پتروشیمی،گاز طبیعی را به عنوان منبع انرژی برتر و پاک در عرصه جهانی مطرح کرده است(دیدیار[۱]،۲۰۰۸).از لحاظ زیست محیطی نیز گاز طبیعی در مقایسه با نفت خام، از آلودگی محیطی کمتری برخوردار می باشد، به همین دلیل گاز طبیعی به عنوان سوخت برتر حال حاضر مطرح شده است(دیل و قنبرزاده،۱۳۹۱).گاز طبیعی در مقایسه با سایر منابع عمده انرژی مانند نفت خام و ذغال سنگ،سوخت فسیلی تمیزی است،زیرا به طور عمده هنگام عمل احتراق بخار آب و گاز دی اکسید کربن تولید می‌کند. دمای احتراق خود به خودی گاز طبیعی ^{o}C ۶۴۹ است(جوانمردی[۲] و همکاران،۲۰۰۴).گاز طبیعی و نفت خام سوخت های مهم در دنیا می باشند که از نظر ارزش حرارتی در جایگاه مشابه‌ی قرار دارند(کاظمی خواه و همکاران،۱۳۹۱).منابع عظیم گازی در سرتاسر جهان و رشد بازار مصرف دو عامل بسیار مهم در استفاده از گاز طبیعی در زمان آینده به شمار می‌آید. اگر بتوان هزینه‌های تولید گاز طبیعی را از طریق تحقیقات علمی و پژوهشی کم نمود، اثر واقعی گاز در بازار انرژی بیشتر نمایان خواهد شد(ایکونویچ[۳]،۲۰۰۷).

ترکیبات گاز طبیعی

گاز طبیعی مخلوطی از هیدروکربن های متان، اتان، بوتان، پروپان که در دما و فشار طبیعی در حالت گازی هستند و مقادیر متغیری از ترکیبات هیدروکربنی سنگین‌تری که به عنوان

[۱] Didier
[۲] Javanmardi
[۳] Ikonnikova

جزء پنتان(C_5^+) نامیده می‌شوند،همچنین در حدود ۹۰-۷۰ درصد از ترکیبات گازی را گاز متان تشکیل می دهد.

جدول۱- ترکیبات گاز طبیعی(سیزاک و مالچو[۴]،۲۰۱۷)

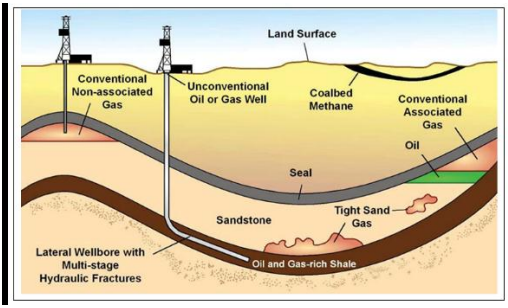
ترکیبات	فرمول شیمیایی	درصد($\%mole$)
متان	CH_4	۹۰-۷۰
اتان	C_2H_6	۲۰-۰
پروپان	C_3H_8	۲۰-۰
بوتان	C_4H_{10}	۲۰-۰
دی اکسید کربن	CO_2	۸-۰
اکسیژن	O_2	۰,۲-۰
نیتروژن	N_2	۵-۰
سولفید هیدروژن	H_2S	۵-۰
گازهای خنثی	A،He،Ne،Xe	مقدار ناچیز

انواع گاز طبیعی

گاز طبیعی در مخازن زیر زمینی

گاز طبیعی به دو شکل گاز مشترک و یا گاز غیرمشترک در مخازن زیرزمینی وجود دارد. اگر گاز طبیعی در مخازن زیرزمینی به همراه نفت خام باشد،به آن گاز مشترک[۵]گفته می‌شود.گاز طبیعی مشترک به عنوان یک منبع انرژی بسیار مهم در صنایع مختلف به خصوص در صنعت پتروشیمی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می باشد.اما اگر گاز طبیعی در خلل و فرج مخازن زیرزمینی بدون نفت خام باشد به آن گاز غیر مشترک[۶] گفته می‌شود.

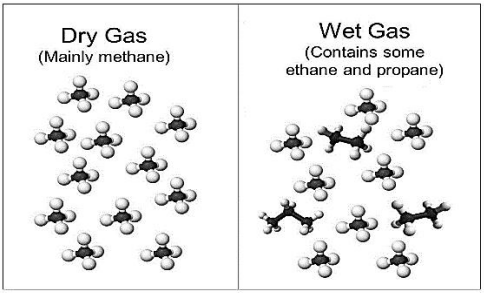
[۴] Siažik, & Malcho
[۵] Associated Gas
[۶] Non-Associated Gas



شکل۱-گاز طبیعی در مخازن زیر زمینی(بختیاری و یزدانی،۱۳۹۱)

گاز طبیعی مرطوب و خشک

گاز طبیعی مرطوب[۷] یک نوع گازی است که هنگام استخراج همراه با نفت خام شامل گاز های متان، مقادیر نسبتا کمی اتان، پروپان و بیشتر شامل مقادیر قابل توجهی از گاز بوتان و هیدروکربن های سنگین تر می باشد.گاز طبیعی خشک[۸] پس از جداسازی گاز های غیر هیدروکربنی همراه با آن که به آسانی تراکم پذیر نبوده ،بطور میانگین دارای ۹۷ درصد گاز متان می باشد.



شکل۲ -گاز طبیعی مرطوب و خشک(دندولند و فیچر[۹]،۲۰۰۴)

۷ Wat Gas
۸ Dry Gas
۹ Wendland,Fischer

گاز ترش و گاز شیرین

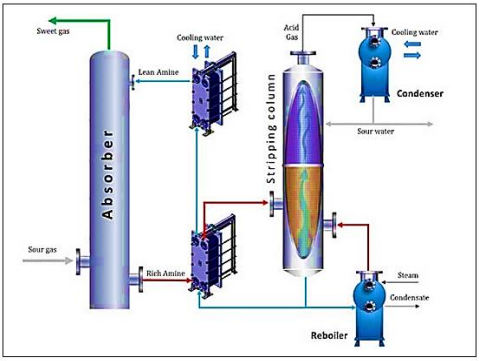
یکی دیگر از تقسیم بندی گاز طبیعی که از نظر به همراه داشتن ناخالصی ها گازهای اسیدی و مرکاپتانها به دو دسته گاز ترش و گاز شیرین تقسیم بندی می شود.

۱. گاز ترش[۱۰]:نوعی از گاز طبیعی که گازهای اسیدی مانند CO_2 و H_2S و مرکاپتان ها $R-SH$ را به همراه خود دارد.گاز ترش به دلیل خورندگی بالا،سمی بودن و پایین بودن کیفیت مورد فرایند شیرین سازی قرار می گیرد.

۲. گاز شیرین[۱۱]: نوعی از گاز طبیعی که عاری از هر گونه گازهای اسیدی بوده و پس از عملیاتی که منجر به تصفیه گازهای اسیدی می‌شود، حاصل می‌گردد(اولجارمیک[۱۲]، ۲۰۱۰).

عملیات بر روی گاز طبیعی

روش های عملیاتی مختلفی که شامل خالص سازی، تغییر در ترکیب گاز طبیعی، استخراج اجزای سازنده قابل فروش گاز،آب زدایی،جداسازی دی اکسید کربن، جداسازی گوگرد و مرکاپتان ها و جداسازی هیدروکربن ها ،که با توجه به ترکیبات سازنده گاز بر روی گاز طبیعی انجام می شوند.این فرآیندها و روش های عملیاتی بر روی گاز طبیعی،قبل از فروش گاز طبیعی به داخل کشور و یا قبل از صادرات انجام می شوند(دیل و قنبرزاده،۱۳۹۱).



شکل۳-عملیات بر روی گاز طبیعی(حسن زاده و برهمند پور،۱۳۹۴)

[۱۰] Sour Gas
[۱۱] Sweet Gas
[۱۲] Olejarmik

فراورش گاز طبیعی

فراورش گاز طبیعی مجموعه فرآیندهای است که در آن گاز طبیعی استخراج شده از خلل و فرج زمین یا از واحدهای مختلف بهره برداری و پس از جداسازی از نفت خام که در آنها هدف نهایی جداسازی گاز متان به عنوان ماده اصلی و با غلظت ۹۰-۷۰ درصد، به عنوان محصول نهایی پالایش کرد.در این عملیات ها علاوه بر استحصال گوگرد از گاز طبیعی، ترکیبات با ارزش افزوده اقتصادی بالا مانند مایعات گاز طبیعی (NGL[۱۳]) شامل گاز مایع و میعانات گازی که جزء محصولات صادراتی هستند، نیز جداسازی می‌شوند.

مشخصات گاز طبیعی

گاز طبیعی حاصل از عملیات ها و فرایندهای مختلف فرآورش، بی رنگ، بی بو و سبک تر از هوا می باشد. ارزش حرارتی هر $1m^3$گاز متان تقریبا معادل ارزش حرارتی Lit ۱ نفت سفید می باشد.از سوختن $1ft^3$ گاز طبیعی معادل با $Kcal$ ۲۵۲ انرژی حرارتی آزاد می شود،که در مقایسه با سایر سوخت های فسیلی بسیار قابل توجه است. ارزش حرارتی گاز متان $Kcal$ ۸۴۰۰ ، اتان $Kcal$ ۱۰۲۰۰، پروپان $Kcal$ ۲۲۲۰۰ و گاز بوتان برابر با $Kcal$ ۲۸۵۰۰ به ازای هر m^3 آنها است(دیدیار[۱۴]،۲۰۰۸).

خواص فیزیکی گاز طبیعی

گاز طبیعی بی رنگ و بی بو می باشد، چگالی آن در حدود ۰,۸-۰,۴ و دمای خود اشتعالی آن ۵۹۰°C ، دارای ارزش حرارتی $\frac{Kcal}{m^3}$ ۸۹۰۰-۱۰۲۰۰ و بازده حرارتی ۸۰ درصد نیز می باشد. محدوده قابل اشتعالی گاز طبیعی ۵ تا ۱۵ درصد حجمی و دمای شعله آن ۱۸۷۵°C (در شرایط آزمایشگاه)که در شرایط عادی و در دمای ۱۸۰°C− به مایع تبدیل می‌شود. گاز طبیعی از نوع گاز های خفه کننده ساده می باشد(اولجارمیک[۱۵]،۲۰۱۰).

ذخایر گاز طبیعی

ذخایر گاز طبیعی نیز مشابه نفت خام به طور کلی به سه گروه تقسیم بندی می شوند که شامل:

۱. ذخایر ثابت شده[۱۶]: ذخایری هستند که عملیات اکتشاف در این ذخایر به پایان رسیده و در مرحله تولید و یا توسعه قرار دارند.

[۱۳] Liquefied Natural Gas
[۱۴] Didier
[۱۵] Olejarmik
[۱۶] Proved Reserves

۲. ذخایر احتمالی[۱۷]: ذخایری هستند که عملیات اکتشاف در این ذخایر به پایان رسیده که احتمالا در شرایط فنی و اقتصادی مورد نیاز، قابلیت تولید و برداشت از این ذخایر را دارا باشند.

۳. ذخایر ممکن[۱۸]: ذخایری هستند که مراحل و مطالعات زمین شناسی بر این ذخایر صورت گرفته و معمولا در کنار ذخایرثابت شده یا احتمالی قرار دارند و ارقام ارائه شده فقط تخمین های کارشناسان زمین شناسی نفت وگاز می باشد(دیگو[۱۹]،۲۰۰۸).

ذخایر گاز طبیعی در جهان

ذخایر گاز طبیعی در جهان مطابق آمار سازمان اطلاعات انرژی آمریکا در جدول ذیل آمده است.

جدول ۳- ذخایر گاز طبیعی در جهان(Oil & Gas Journal, ۲۰۱٤)

رتبه	کشور	متر مکعب(تریلیون)	درصد
۱	روسیه	۴۷,۸	۲۴
۲	ایران	۳۳,۵	۱۷
۳	قطر	۲۴,۳	۱۲
۴	آمریکا	۹,۱۲	۵
۵	عربستان سعودی	۸,۵۸	۴
۶	چین	۵,۲۱	۳
۷	عراق	۳,۱۷	۲
۸	موزامبیک	۲,۸۳	۱
۹	نروژ	۱,۸۷	۱
۱۰	هلند	۰,۷۹	کمتر از ۱ درصد
۱۱	برزیل	۰,۴۲	کمتر از ۱ درصد
۱۲	انگلستان	۰,۲۱	کمتر از ۱ درصد
۱۳	آنگولا	۰,۳۱	کمتر از ۱ درصد

[۱۷] Probable
[۱۸] Possible
[۱۹] Diego

میزان آلایندگی گاز طبیعی و سوخت های فسیلی

یکی از علل بسیار موثر در سوختن کامل گاز طبیعی و آبی سوزی شعله،تامین مقدار هوای مورد نیاز برای واکنش هنگام سوختن می باشد. میزان هوای لازم برای $m^3$۱گاز طبیعی به هنگام واکنش سوختن گاز در حدود $m^3$۱۰است .میزان آلایندگی گاز طبیعی و سایرسوخت های فسیلی میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در گاز طبیعی ٪۵۳,۶، پروپان۶۷ ٪،بنزین ۷۲ ٪، نفت گاز ۲,۶۷ ٪، نفت کوره ۷۹,۳ ٪ و ذغال سنگ ۸۲,۱ ٪ به ازای یک واحد گرما $Kg.co_2/Gj$ می باشد.از گاز طبیعی با توجه به مطالب عنوان شده می توان از گاز طبیعی به عنوان یک منبع انرژی، سوختی ایمن و سالم در محیط های خانگی، تجاری، اداری دارای فضای بسته و محدود استفاده نمود(کرباسی و قدیانی،۱۳۸۸).

جدول۴-موقعیت ذخایر عمده گاز طبیعی در جهان(طاهری و همکاران،۲۰۱۴)

رتبه	نام میدان	کشور	ذخایر قابل برداشت(تریلیون متر مکعب)
۱	South Pars	ایران و قطر	۳۵
۲	Urengoy	روسیه	۶,۳
۳	Yamburg	روسیه	۳,۹
۴	Hassis Remal	الجزایر	۳,۵
۵	Shtokman	روسیه	۳,۱
۶	Galkynysh	ترکمنستان	۲,۸
۷	Zapolyarnoye	روسیه	۲,۷
۸	Hugoton	امریکا	۲,۳
۹	Gronlngen	هلند	۲,۱
۱۰	Bovenenkovo	روسیه	۲

روش های انتقال گاز طبیعی

۱. انتقال از طریق خطوط لوله
۲. انتقال به صورت گاز طبیعی مایع شده(ال ان جی) از طریق فرآیند سرد سازی تا دمای $-۱۶۲°C$

۳. انتقال به وسیله مخازن با فشار بالا از طریق فشرده سازی گاز طبیعی تا فشارهای حدود ۲۵۰ bar – ۲۳۰

۴. انتقال از طریق هیدرات گازی(ریاحی و همکاران،۱۳۹۱).

حمل و نقل از گاز طبیعی

هزینه حمل و نقل گاز طبیعی در مقایسه با نفت خام بسیار زیاد می باشد،که خود یکی از عوامل بسیار مهمی است که مانع توسعه صنعت گاز طبیعی به اندازه توسعه صنعت نفت خام شده است.همچنین دور بودن مخازن گاز طبیعی از بازار مصرف، از نظر اقتصادی هزینه حمل و انتقال گاز را در مقایسه با نفت خام بسیار بالاتر برده است(غریب ناصری و آشناگر،۱۳۹۰).

ذخایر زیرزمینی نفت خام

سوخت های فسیلی شامل نفت خام و گاز طبیعی در عمق سه تا چهار کیلومتری اعماق و لایه های زمین و در خلال و فرج لایه های زیر زمینی ذخیره شده اند(کامروس[۲۰]،۲۰۰۰).

کاربرد های گاز طبیعی

مهمترین کاربرد های گاز طبیعی شامل موارد مهم ذیل می باشد:

۱. تبدیل گاز طبیعی به محصولات مایع با ارزش افزوده بالا مانند سوخت های پاک(دیزل)، روغن ها، واکس ها آمونیاک، متانول و سپس صادرات آنها

۲. تبدیل گاز طبیعی به فراورده های مایع مانند NGL ، GTL ، LPG و CNG[۲۱].

۳. تبدیل گاز طبیعی به انرژی گرمایی و الکتریکی برای تولید محصولاتی در صنایع مختلف مانند آجر، سیمان، آلومینیوم، پلاستیک و شیشه

۴. تبدیل گاز طبیعی به الکتریسیته در نیروگاه های مختلف و انتقال جریان الکتریسیته تولیدی بوسیله خطوط انتقال ولتاژ بالا به بازارهای مصرف

۵. سوخت منازل، کارخانجات و نیروگاه هایی که در آنها از خاصیت انرژی حرارتی گاز طبیعی استفاده می کنند.

۶. سوخت انواع خودروها که در زمینه حمل و نقل کاربرد دارد.

۷. تولید گاز هیدروژن که در صنعت تهیه روغن جامد و مصارف صنعتی دیگر کاربرد دارد.

۸. احیای آهن سنگین که در صنعت فولاد سازی کاربرد دارد.

۹. تهیه پروتئین ها جهت تغذیه انسان ها

[۲۰] Camaro's
[۲۱] Compressed Natural Gas

دراستفاده از منابع گازی انتخاب اقتصاد ترین روش به عواملی مانند فاصله بین منابع گازی و مراکز مصرف، نوع نیاز مصرف‌کنندگان، مقدار گاز جهت تولید الکتریسیته یا سایر محصولات انتقالی، نوع زیرساخت‌های موجود و شرایط جغرافیایی منطقه بستگی دارد(دیناری و همکاران،۱۳۹۵).

آینده انرژی گاز طبیعی

مطابق پیش بینی ها کارشناسان حوزه ی نفت و گاز ،نشان دهنده ی این موضوع است که طی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۰ با در نظر گرفتن رشد ۲,۴ درصدی مصرف انرژی در سال، مصرف گاز طبیعی در جهان به بیش از دو برابر طی سال های ذکر شده خواهد رسید(اقتصاد انرژی،۱۳۸۷).هزینه های مربوط به حمل و نقل از جمله مواردی است که آینده صنعت گاز را مشخص می کند(دریجانی و علم الهدی،۱۳۹۳). ارزش حرارتی هر یک میلیون BTU گاز طبیعی تقریبا معادل ارزش حرارتی ۰,۱۸۷ بشکه نفت خام می باشد(علیزاده،۱۳۹۵).از مهمترین منابع انرژی جهان، گاز طبیعی است که روز به روز بر اهمیت آن افزوده می شود. مطالعات انجام شده در زمینه مصرف گاز طبیعی در جهان نشان دهنده این موضوع است که از بین منابع اصلی انرژی،گاز طبیعی بیشترین تقاضا را تا سال ۲۰۳۵ از میان سایر منابع انرژی خواهد داشت. بر اساس این پیش بینی ها مصرفی گاز طبیعی طی سال ۲۰۳۵ به مقدار ۴۵۳۵ میلیارد مترمکعب در سال خواهد رسید که نشان دهنده ی رشد قابل ملاحظه ای از مصرف گاز طبیعی نسبت به سال ۲۰۰۸ ،که مقدار ۳۱۴۹ میلیارد متر مکعب را نشان می دهد. همچنین مصرف انرژی از مقدار ۲۱٪ در سال ۲۰۰۱ به مقدار ۲۳٪ در سال ۲۰۳۵ افزایش خواهد یافت(چوان و همکاران،۲۰۰۸).

مصرف گاز طبیعی در جهان در بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ می‌تواند جایگاه نفت خام را به عنوان سوخت اصلی به خود اختصاص دهد.دلیل اصلی رشد جهانی تقاضای فزاینده گاز طبیعی در مقایسه با سایر سوخت های فسیلی بیشتر به علت از مزایای زیست محیطی و آلودگی کمتری که گاز طبیعی ایجاد می‌کند،نشات می گیرد(منظور و اسدی،۱۳۸۵).

مزایای گاز طبیعی

از مزایای گاز طبیعی می توان به مواردی مانند فراوانی این ماده در طبیعت،میزان آلایندگی کم،قیمت پایین این محصول با ارزش در مقایسه با نفت خام، پیشرفت و توسعه فناوری انتقال ،جایگزینی مناسب برای محصولات نفتی همانند بنزین را اشاره نمود(ویندن[۲۲] و همکاران،۲۰۱۳).

[۲۲] Winden

هزینـه کمتر انتقـال و پالایش گاز طبیعی در مقایســه با نفت خام و نیز آلایندگی به مراتب خیلی کمتر محیط زیسـت نسبت به نفت خام ارزش ذاتی این فرآورده با ارزش را افزایش می دهـد.امروزه قیمـت گـاز در بازارهای جهانی بر خلاف این واقعیت بوده و خیلی کمتر ازقیمت نفت خام می باشـد،بنابراین اکثر کارشـناسـان انرژی و اقتصاد شرایط کنونی مصرف کنندگان گاز طبیعی را به گونه ای توصـــیف می کنند که شـــاید قیمت گاز در آینده تکرار نشـــدنی باشـد(علیزاده،۱۳۹۵).افزایش قیمت نفت خام در دهه اخیر باعث شده است تا اکثر کشورهای جهان درصدد یافتن و جایگزین نمودن گاز طبیعی برای تامین نیازهای خود به عنوان منبعی برای تولید انرژی و مواد شـیمیایی باشـند.که در این میان گاز طبیعی به دلیل فراوانی ذخایر در سـرتاسـر دنیا و قیمت کمتر به عنوان جایگزینی مناسب و ارزان قیمت برای نفت خام در چند دهه اخیر مطرح شـــده اســـت. افزایش منابع جدید گازی و افزایش قیمت نفت خام در سـال های اخیر موجب شده است تا اکثر کشورها سیاست های جدیدی برای جایگزینی نفت خام با گاز طبیعی در پیش گیرند(عجمین و حقیقی،۱۳۹۱).

آلودگی هوا ناشی از سوخت های گازی و نفتی

در جدول زیر انواع آلاینده ها و نیز مقادیر آلودگی هوا ناشـی از سـوخت های گازی و نفتی آماده است.

جدول۵-میزان آلودگی هوای ناشی از سوخت گازی و سوخت نفتی (World Energy Council .۲۰۱۵)

انواع آلاینده ها	گاز طبیعی	نفت
اکسیدهای نیتروژن	۴۳	۱۴۲
دی اکسید گوگرد	۰,۳	۴۳۰
ذرات معلق	۲	۳۶

واحدها برحسب کیلوگرم به ازای هر ژول انرژی مصرف شده می باشد.

فناوری های استفاده از گاز طبیعی

گاز طبیعی به دلیل ماهیت گازی خود جهت استفاده در مصارف صنعتی با محدودیت هایی بسـیاری برخوردار می باشـد، نتیجه تحقیقات و تلاش های انجام گرفته دسـتیابی به انواع فـناوری هـای تبدیلات گازی است.فناوری های استفاده از گاز طبیعی با توجه به نوع روش به کار رفته در آنها به چهـار گروه تقسیم بندی می شوند:

۱. تبدیلات فیزیکی شامل: تبدیل به گاز طبیعی جذب شده(ANG[۲۳]) ، تبدیل به گاز طبیعی فشرده شده(CNG)، تبدیل به گاز طبیعی مایع شده(LNG)، تبدیل گاز طبیعی به جامد(GTS[۲۴]) تبدیل به هیدرات گازی(NGH[۲۵]).
۲. تبدیلات شیمیایی شامل گاز سنتز،تبدیل به سوخت های مایع (GTL[۲۶])،زوج شدن اکسایشی متان(OCM[۲۷]) ، تبدیل گاز طبیعی به اتیلن(GTE[۲۸])،تبدیل گاز طبیعی به متانول(GTM[۲۹])، فرآیند تبدیل متانول به اولفین (MTO[۳۰])، فرآیند تبدیل متانول به پروپیلن(MTP[۳۱])،فرآیند تبدیل متانول به گازوئیل(MTG[۳۲])،تولید دی متیل اتر(DME[۳۳])،تبدیل به هیدروژن.
۳. تبدیل گاز طبیعی به نیرو مانند تبدیل به برق(GTW[۳۴]).
۴. تبدیل گاز طبیعی به کالا و محصولات فیزیکی(GTC[۳۵]).

هدف از تبدیلات فناوری های استفاده از گاز طبیعی را می توان به دو کاربرد مهم برای گاز طبیعی اشاره نمود:

۱. تصفیه و استفاده از گاز طبیعی به عنوان منبع مهم انرژی و ورود به بازار تجارت جهانی
۲. استفاده از فرآورده های با ارزش گاز طبیعی(دیدیار[۳۶]،۲۰۰۸).

گاز طبیعی مایع شده(LNG)

گاز طبیعی مایع شده، مایعی است روشن، بدون رنگ و بو که بخش اعظم آن که در حدود ۹۵٪ است را گاز متان تشکیل داده است و از سرد سازی گاز طبیعی در شرایط دمایی ۱۶۱°C− و فشار ۱atm به دست می آید(اولجارمیک[۳۷]، ۲۰۱۰ و ریاحی و همکاران،۱۳۹۱).امروزه مقدار ۳۰ درصد از تجارت جهانی گاز طبیعی به ال ان جی اختصاص

[۲۳] Adsorbed Natural Gas
[۲۴] Gas to Solids
[۲۵] Natural Gas Hydrates
[۲۶] Gas to Liquids
[۲۷] Oxidative Coupling of Methane
[۲۸] Gas to Ethylene
[۲۹] Methanol Gas to
[۳۰] Methanol to Olefin
[۳۱] Methanol to Propylene
[۳۲] Methanol to Gasoil
[۳۳] Gas to Dimethyl Ether
[۳۴] Gas to Wire or power
[۳۵] Gas to Commodity
[۳۶] Didier
[۳۷] Olejarmik

دارد.مزایای ال ان جی در مقایسه با صادرات گاز طبیعی از طریق خطوط لوله باعث شده است این محصول با ارزش اقتصادی زیاد، مورد توجه بسیاری از کشورها در سرتاسر جهان قرار گیرد.در حال حاضر ۹۴ واحد مایع سازی گاز طبیعی در جهان مطابق آمارهای بین‌المللی در ۱۸ کشور جهان ساخته شده است، که از این بین قطر دارای بزرگترین تاسیسات مایع سازی گاز طبیعی در جهان با ظرفیت بیش از ۸۰ میلیون تن ال ان جی درسال است. بعد از آن کشورهایی مانند اندونزی، مالزی، استرالیا و الجزایر بیشترین ظرفیت مایع سازی گاز طبیعی در جهان را دارند(قاسم زاده و طاهری،۱۳۹۱).

جدول ۶- ذخایر ال ان جی در دنیا (حسن زاده و برهمند پور،۱۳۹۴)

کشور	ذخایر اثبات شده(تریلیون متر مکعب)	درصد از کل ذخایر جهان
ایران	۳۳,۶۲	۱۸٪
روسیه	۳۲,۹۲	۱۷٪
قطر	۲۵,۰۶	۱۳٪
ترکمنستان	۱۷,۵۰	۰,۰۹٪
عربستان سعودی	۸,۲۳	۰,۰۴٪
امارات متحده عربی	۶,۰۹	۰,۰۳۳٪
ونزوئلا	۵,۵۶	۰,۰۳۰٪
نیجریه	۵,۱۵	۰,۰۲۸٪
الجزایر	۴,۵۰	۰,۰۲۴٪

انتقال گاز طبیعی برای فواصل طولانی حتی با بکارگیری ساده ترین روش یعنی خطوط لوله به واسطه ماهیت آن عمدتا با دشواری و مشکلات خاصی همراه است.امروزه تکنولوژی های نظیر ال ان جی توسط کارشناسان حوزه نفت و گاز، به عنوان راهکاری کاملا اقتصادی و قابل اطمینان در این زمینه مطرح شده است. در حال حاضر تکنولوژی های بسیاری برای استحصال، انتقال و به کارگیری از منابع گازی گسترش پیدا کرده اند. بعضی از کارشناسان تبدیل گازطبیعی به فرآورده‌های مایع،نظیر جی تی ال را نیز روشی مناسب جهت انتقال گاز به بازارهای مصرف در نقاط جغرافیایی دوردست را عنوان می‌کنند. همچنین می توان از تکنولوژی های مناسب و ارزان قیمت نظیر هیدرات و CNG نیز برای انتقال گاز طبیعی استفاده نمود(بهرامی و همکاران،۱۳۹۰).

دلایل رشد تولید و صادرات گاز طبیعی مایع(ال ان جی)،شامل مناسب بودن از نظر حمل و نقل در فواصل طولانی، بازده حرارتی بالا ، پاک بودن و نیز مطابقت با قوانین مسائل زیست محیطی می باشد که باعث شده است استفاده از این محصول با ارزش به عنوان منبع انرژی به طور فزاینده ای رشد نماید(ریاحی و همکاران،۱۳۹۱). گاز طبیعی مایع، به خاطر منابع عمده گاز طبیعی و خط مشی هایی کاهش های گازهای خروجی NO_X و SO_X و مواد ویژه به عنوان سوخت دریایی جهت کشتی ها و غیره جایگزینی مناسب برای آینده به شمار می‌رود(محققی و خاکسار،۱۳۹۷).

جدول۷- ترکیبات موجود در LNG بر اساس درصد مولی(ریاحی و همکاران،۱۳۹۱)

ترکیبات	سهم(درصد)	
	حداقل	حداکثر
متان	۸۳	۹۹,۸
اتان	۰	۱۴
پروپان	۰	۴
بوتان	۰	۲,۵
نیتروژن	۰	۱,۳

فرآیند GTL

تکنولوژی تبدیل گاز طبیعی به مایع درجنگ جهانی دوم توسط آلمان به سبب کمبود منابع سوخت و انرژی گسترش پیدا کرد. در این فرآیند از گاز طبیعی، گاز سنتز ایجاد می شود.گاز سنتز تولید شده مطابق واکنش های Fischer وPitchler به هیدروکربن های متنوعی تبدیل و سپس هیدروکربن های تولید شده طی عملیات هیدروکراکینگ و ایزومریزاسیون به محصولات متنوعی همانند گازمایع،نفتا،گازوئیل،نفت سفید و پارافین تبدیل می شود. محصولات تولید شده در فناوری GTL نسبت به محصولات تولید شده در پالایشگاه های نفت ،دارای تنوع کمتر و همچنین کیفیت به مراتب پایین تری دارند،اما به دلیل نداشتن ترکیبات گوگردی و سایر مرکاپتان ها با شرایط و قوانین زیست محیطی از سازگاری بالاتری برخوردار می باشند(مزین[۳۸]،۲۰۱۶).

در حال حاضر ظرفیت تولید گاز طبیعی مایع در جهان مطابق آمار سازمان اطلاعات انرژی آمریکا در سال ۲۰۲۱ در حدود ۲۷۰ هزار بشکه در روز می باشد و شرکت های مختلف و

[۳۸] Mazyan

بزرگ نفتی دنیا از جمله شـرکت شـل و سـاسـول در این زمینه فعال هستند.در جدول زیر مهمترین واحدهای GTL در مقیاس بزرگ آمده اســت. لازم به ذکر اســت آخرین واحد GTL در مقیاس بزرگ در سال ۲۰۱۴ به بهره برداری رسید.

جدول ۸-واحد GTL در مقیاس بزرگ در جهان

ردیف	کشور	نام تاسیسات	شرکت سازنده	سال بهره برداری	ظرفیت(بشکه در روز)
۱	مالزی	Bintulu	شل	۱۹۹۳	۱۲۰۰۰
۲	افریقای جنوبی	Sasolburg	ساسول	۱۹۹۴	۵۶۰۰
۳	مالزی	Bintulu	شل	۲۰۰۶	۲۷۰۰
۴	قطر	Oryx	شل/شورون	۲۰۰۶	۳۴۰۰۰
۵	قطر	Pearl	شل	۲۰۱۱	۱۴۰۰۰۰
۶	نیجریه	Escravos	شورون/ساسول	۲۰۱۴	۳۴۰۰۰
۷	ازبکستان	Uzbekistan	ساسول/پتروناس	۲۰۲۱	۲۶۰۰۰

بر اساس ارزیابی های اقتصادی انجام شده بوسیله شرکت Hatch در سال ۲۰۱۱،مهمترین عوامل موثر بر اقتصاد فناوری GTL شامل قیمت نفت خام ،گاز طبیعی و هزینه های سرمایه گذاری می باشند.همچنین مطابق تحقیقات انجام شده توسط شرکت Nexant در سال ۲۰۱۶، محصولات تولیدی در فرایند GTL،با قیمت نفت خام کمتر از ۷۰ دلار توان رقابت و مقابله با محصولات تولید شده پالایشگاه های نفت را نخواهند داشت و با قیمت نفت خام در حدود ۱۰۰دلار بسیار رقابت پذیر می باشند(عظیمی و باقربیگی،۱۳۹۷).

گاز نفتی مایع(LPG[۳۹])

گاز نفتی مایع یکی از محصــولات جانبی صــنعت نفت و گاز با عدد اکتان در حدود ۱۰۵ می باشــد.این محصــول از هیـدروکربن هـا بـا نسـبـت هـای مختلف کـه بیشــتر شــامل پروپان،پروپیلن،بوتان و بوتیلن تشـکیل شـده اسـت.قسـمت اعظم LPG از پروپان و بوتان با

[۳۹] Liquefied Petroleum Gas

نسبتی تقریبا برابر ترکیب شده است. این محصول فرعی بی رنگ، بو و طعم می باشد اما چنانچه در حجم زیادی ازآن استشمام شود باعث بیهوشی خواهد شد(سوارز[۴۰]،۲۰۱۰).

جدول۹- ترکیبات LPG

ترکیب	وزن مولکولی	نقطه جوش	چگالی	ارزش حرارتی (BTU)
پروپان	۴۴,۱	-۴۲	۰,۵۰۷۷	۲۱۵۰۰
ایزوبوتان	۵۸,۱	-۱۱,۷	۰,۵۶۳۱	۲۱۰۹۰
نرمال بوتان	۵۸,۱	-۵	۰,۵۸۴۴	۲۱۱۴۰

۲- جمع بندی

با کاهش هزینه های تولید و فرآورش گاز طبیعی در مقایسه با نفت خام از طریق تحقیقات علمی و پژوهشی می توان اثر واقعی صنعت گاز طبیعی در بازار های بین المللی انرژی، صنایع عظیم و رو به رشد در کشورهای در حال توسعه و سایر جوامع امروزی بیشتر نمایان خواهد بود. همچنین با توجه به فراوانی گاز طبیعی و محصولات ناشی از آن با ارزش افزوده بالا همانند گازمایع،ال پی چی،سی ان جی،جی تی ال و سایر فرآورده های مایع ناشی از پالایش گاز طبیعی، که در بعضی موارد دارای ارزش حرارتی مشابه با سایر محصولات نفتی و سازگاری آلاینده های ناشی از سوختن گاز طبیعی با قوانین زیست محیطی در مقایسه با نفت خام، استفاده و کاربرد از این ماده به عنوان منبع انرژی پاک در قرن حاضر شده است.

[۴۰] Suarez

منابع و ماخذ

- اقتصاد انرژی(۱۳۸۷).شماره ۱۰۸. صص ۱۲-۱۵.
- بهرامی،احمد،خواجه،جعفر،میرزایی،محمد،میرزایی،مهدی(۱۳۹۰)."راهکارهای نوین انتقال گاز و راهکارهای آینده در انتقال گاز".دومین همایش علوم و فناوریهای نوین در صنعت پالایش.
- بختیاری،صادق.یزدانی،مرتضی(۱۳۹۱)."اهمیت استراتژیک گاز طبیعی و لزوم مدیریت و اصلاح الگوی مصرف".فصلنامه راهبرد اقتصادی.سال اول.شماره دوم.صص ۷۱-۹۱.
- حسن زاده،فتاح ،برهمندپور،همایون(۱۳۹۴)."بررسی سیاست گذاری مطلوب در صادرات گاز ایران به کشورهای هدف".کنفرانس بین المللی فناوری و مدیریت انرژی-دومین کنفرانس انجمن علمی انرژی ایرانگ.
- دیل،فرزانه.قنبرزاده،مریم(۱۳۹۱)."نگاهی به رابطه مصرف گاز طبیعی در رشد اقتصادی و اولویت های مصرف گاز در کشور".مجله اقتصادی-ماهنامه بررسی مسائل و سیاست های اقتصادی.شماره ۲،.صص ۱۴۳-۱۴۸.
- دیناری،سامان.نیک افشار،سجاد. و ابراهیم پور،سعید.(۱۳۹۵)"مقایسه فنی و اقتصادی انتقال گاز طبیعی از طریق خطوط لوله و تبدیل گاز به الکتریسیته و انتقال الکتریسیته تولیدی به محل های مصرف".سومین کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در شیمی و مهندسی شیمی.
- دریجانی،م.و علم الهدی،ح.(۱۳۹۳)."انتقال گاز طبیعی"،نشریه علمی پژوهشی سفیر امید.
- عظیمی فر،م.ص. و باقری بیگی،الف.ح.(۱۳۹۷)." تبدیل گاز طبیعی به مایع GTL"؛ مروری بر تکنولوژی، پروژهها، اقتصاد و آینده". ماهنامه ی علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز |شمارهی ۱۵۵. صص ۲۰-۲۳
- ریاحی،فرشاد؛مسیبی بهبهانی،رضا؛کاهید،غلامحسین و سلطانی فیروز؛ناهید،(۱۳۹۱)."ارزیابی اقتصادی صنعت ال ان جی در میدان گاز پارس جنوبی". اولین کنفرانس بین المللی نفت،گاز و پتروشیمی و نیروگاهی.

- محققی،محســـن. و خاکســـار،علی(۱۳۹۷)."چارچوبی برای ارزیابی کمی ریســـک نشت از کشتی های سوخت ال ان جی با رویداد سی اف درختی".سومین همایش بین المللی نفت،گاز و پتروشیمی و ایمنی.
- منظور،داود.اسدی،حمید(۱۳۸۵)."تحلیل هزینه-فایده صادرات گاز ایران به اروپا با استفاده از خط لوله".نشریه انرژی ایران.سال دهم.شماره ۲۶. صص ۴۶-۶۳.
- غریـــب ناصـــری،ناهید.آشـــناگر،علمدار(۱۳۹۰)."گاز طبیعی و اهمیت آن".اولین سمینار تبدیل گاز طبیعی به فرآورده های نفتی.دانشگاه تهران.۱۵۸-۱۷۲.
- عجمین،حســـین.حقیقی،محمد(۱۳۹۱)."ارزیابی منابع گاز طبیعی ایران و مقایســـه روش های بهره برداری ازآن در صنایع نفت،گاز و پتروشیمی".اولین کنفرانس بین المللی نفت،گاز ،پتروشیمی و نیروگاهی.
- فرزانه گرد،محمود.رهبری،حمیدرضـــا(۱۳۹۰)."محاسبه آنتروپی و آنتالپی مخلوط گـــاز طبیعی و کـــاربرد آنهـــا در فرآینـــدهای انتقال گاز طبیعی.نوزدهمین همایش سالانه مهندسی مکانیک ایران.دانشگاه بیرجند.صص ۴-۱.
- علیزاده، مجید(۱۳۹۵).سایت توسعه فناوری صنعت نفت ایران.
- قاســـم زاده،امین و طاهری،محمد رضـــا(۱۳۹۱)."امکان سنجی صادرات گاز طبیعی مایع شده از ایران به اسپانیا و تاثیر آن بر توسعه اقتصادی کشور".حوزه مطالعات استراتژیک گروه صنعتی انتخاب.
- کاظمی خواه،رســـول؛رشـــیدی،فریبرز؛مســـکریان؛رضـــا،(۱۳۹۱)"شیرین سازی گاز طبیعی بوســـیله مدول پیچشـــی غشـــاء".ســـومین کنفرانس علوم و مهندســـی جداسازی. صص ۲۴-۱۵.
- کربـــاســـی،عبـــدالرضـــا؛قـــدیـــانی،نعمیه(۱۳۸۸)."گاز طبیعی و خودرو".صـــنعت خودرو.شماره ۱۳۵.صص۶۶-۷۴.

- Alejandro Alonso Suarez, March, ۲۰۱۰. CNE, LNG in Spain Key Figures and Regulatory Framework.
- Chone, A., Curtis, L. and Graham, ۲۰۰۸."The proposed Iran-Pakistan-India Gas Pipepline: An Unacceptable Risk to Regional Security". Heritage Foundation Backgrounder, NO.۲۱۳۹, May, ۱۵ Pages.

- Camaro's Patrick, ۲۰۰۰."The European Energy Outlook to ۲۰۱۰ and ۲۰۳۰". International Journal of Global Energy ISSUE, Vol,۱۴. No.۴.
- Didier. H.۲۰۰۸.APEC Energy Trade and Investment RoundTable, Enhancing Investment in the Energy Sector, An IEA Perspective, Energy Markets and Security, International Energy Agency, OECD/IEA.
- Diego, Goldin, A. ۲۰۰۸."NGV Integration in Latin America", www.Iangv.org.
- Ikonnikova, Svetlana, ۲۰۰۷.Coalition Formation, Bargaining and Investments in Network with Externalities: Analysis of the Eurasian Gas Supply Network, Munich Personal RePec Archive(MPRA)Paper ۹۱۵, ۲۰ Pages.
- Introduction to “Conventional” Natural Gas Kenneth M. Klemow, Ph.D. BIO / EES ۱۰۵ at Wilkes University.۲۰۱٦
- Javanmardi, Kh. Nasrifar, S.H Najibi, Moshfeghian, ۲۰۰۴.Economic Evaluation of Natural Gas Hydrate as an Alternative for Natural Gas Transportation, Applied Thermal Engineering.
- More gas for a tight marketplace, Michel Hanrahan, PR-AC seminar, feb, ۲۰۰۶.
- Mazyan, W. and Ahmadi, A.H. and Hoofer, M. ۲۰۱۶,"Market and Technology Assessment of Natural Gas Processing: A Review," Journal of Natural Gas Science and Engineering, ۵۶،۳۵۴-۲۶۸.
- Olejarmik, p.۲۰۱۰.World energy Outlook, International energy agency, Paris, France.
- Oil & Gas Journal, as of January ۲۰۱٤.
- Taheri,z. and Shabani,M. and Nazari,K. and Mehhdizaheh,A. ۲۰۱۴,"Natural gas transportation and storage by hydrate

technology: Iran case study," Journal of Natural Gas Science and Engineering,۲۱.۸۴۶-۸۴۹.

- **Siažik, Jan & Malcho, Milan. ۲۰۱۷. Accumulation of Primary Energy into Natural Gas Hydrates. Procedia Engineering. ۱۹۲. ۷۸۷–۷۸۲.**
- **Wend land M, Saleh Fischer J, ۲۰۰۴."Accurate Thermodynamic Properties from the BACKONE Equation for the processing of Natural gas". Energy fuel, ۱۸, pp.۹۳۸-۹۵۱.**
- **Winden, B. and Chen, M and Okamoto, N. ۲۰۱۳,"An Investigation into the Logistical and Economical Benefits of using Offshore Thermal Power in a Future CCS Scheme, "Energy Procedia,۳۷.۲۹۹۷-۳۰۰۴.**
- **World Energy Council Website (۲۰۱۵).**